

IN THE U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: HSU, Tse-Hsiang et al. Conf.:
Appl. No.: NEW Group:
Filed: September 24, 2003 Examiner:
For: LOOP FILTER AND METHOD FOR ADJUSTING A
COMPENSATING CURRENT OF THE SAME

L E T T E R

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

September 24, 2003

Sir:

Under the provisions of 35 U.S.C. § 119 and 37 C.F.R. § 1.55(a), the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on the following application(s):

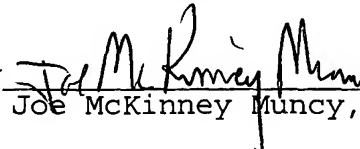
<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Filed</u>
TAIWAN, R.O.C.	091122588	September 30, 2002

A certified copy of the above-noted application(s) is(are) attached hereto.

If necessary, the Commissioner is hereby authorized in this, concurrent, and future replies, to charge payment or credit any overpayment to Deposit Account No. 02-2448 for any additional fee required under 37 C.F.R. §§ 1.16 or 1.17; particularly, extension of time fees.

Respectfully submitted,

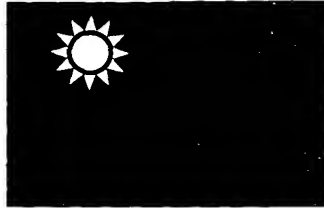
BIRCH, STEWART, KOLASCH & BIRCH, LLP

By 
Joe McKinney Muncy, #32,334

KM/sll
3722-0161P

P.O. Box 747
Falls Church, VA 22040-0747
(703) 205-8000

Attachment(s)



中華民國經濟部智慧財產局

INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
REPUBLIC OF CHINA

茲證明所附文件，係本局存檔中原申請案的副本，正確無訛，

其申請資料如下：

This is to certify that annexed is a true copy from the records of this office of the application as originally filed which is identified hereunder:

申請日：西元 2002 年 09 月 30 日

Application Date

申請案號：091122588

Application No.

申請人：聯發科技股份有限公司

Applicant(s)

局長

Director (General)

蔡練生

發文日期：西元 2003 年 7 月 10 日

Issue Date

發文字號：09220695550

Serial No.

申請日期：	案號：
類別：	

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

一、 發明名稱	中 文	迴路濾波器及其補償電流調整方法
	英 文	Loop filter and compensation current adjusting method for the same
二、 發明人	姓 名 (中文)	1. 徐哲祥 2. 陳志成
	姓 名 (英文)	1. Jason Hsu 2. Chih-Cheng Chen
	國 籍	1. 中華民國 2. 中華民國
	住、居所	1. 新竹科學工業園區創新一路13號1樓 2. 新竹市埔頂路247號7F
三、 申請人	姓 名 (名稱) (中文)	1. 聯發科技股份有限公司
	姓 名 (名稱) (英文)	1. Media Tek Inc.
	國 籍	1. 中華民國
	住、居所 (事務所)	1. 新竹科學工業園區創新一路13號1樓
	代表人 姓 名 (中文)	1. 蔡明介
	代表人 姓 名 (英文)	1. Ming-Kai Tsai



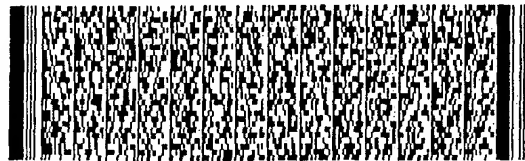
四、中文發明摘要 (發明之名稱：迴路濾波器及其補償電流調整方法)



提供一種迴路濾波器及其補償電流調整方法，使該迴路濾波器之輸出控制電壓較穩定。該迴路濾波器包含：一第一電阻，其第一端接收一控制電流；一電容，係連接於第一電阻之第二端；一第二電阻，其第一端連接第一電阻之第一端；一電壓補償單元，其第一端連接第二電阻之第二端，並產生一補償電壓；一OP運算放大器，其輸出端連接於第二電阻之第二端，第一輸入端連接於第一電阻之第二端，以及第二輸入端連接於電壓補償單元之第二端；一電流源，係連接於電壓補償單元之第二端，並提供一補償電流。該迴路濾波器利用電壓補償單元所提供之補償電壓使OP運算放大器之輸出端電壓實質上等於第一輸入端電壓，使該迴路濾波器之輸出控制電壓較穩定。

英文發明摘要 (發明之名稱：Loop filter and compensation current adjusting method for the same)

A loop filter and a compensation current adjusting method for the same are proposed to reduce the jitter for the control voltage of the loop filter. The loop filter comprises a first resistor, a capacitor, a second resistor, a compensation unit, an OP amplifier, and a current source. The first resistor and the capacitor form a charge path and control current charges to the capacitor through the first resistor. A first input terminal of the OP amplifier is connected to



四、中文發明摘要 (發明之名稱：迴路濾波器及其補償電流調整方法)

英文發明摘要 (發明之名稱：Loop filter and compensation current adjusting method for the same)

the capacitor and the output terminal of the OP amplifier is connected to first resistor through the second resistor. The current source provides compensation current to the compensation unit. The compensation unit is connected between the output terminal of the OP amplifier and a second input terminal of the OP amplifier to compensate the input offset voltage of the OP amplifier. Therefore, the output voltage of the OP amplifier is nearly equal to the voltage of the first



四、中文發明摘要 (發明之名稱：迴路濾波器及其補償電流調整方法)

英文發明摘要 (發明之名稱：Loop filter and compensation current adjusting method for the same)

terminal of the OP amplifier to decrease the unwanted current from capacitor to the output terminal of the OP amplifier through the first resistor and the second resistor.



本案已向

國(地區)申請專利

申請日期

案號

主張優先權

無

有關微生物已寄存於

寄存日期

寄存號碼

無

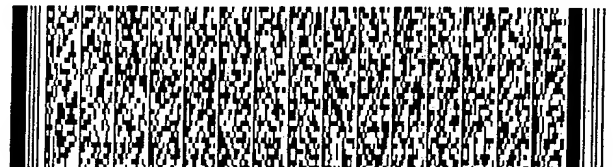
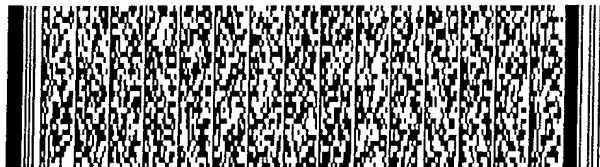
五、發明說明 (1)

[發明之技術領域]

本發明係關於迴路濾波器，特別是關於可降低OP放大器之迴路電流以提高輸出電壓穩定性之迴路濾波器，以及調整該迴路濾波器之補償電流之方法。

[習知技術]

數位相鎖迴路(phase locked loop，以下簡稱PLL)是用來產生與參考時脈同相位之振盪時脈(oscillated clock)。PLL的基本架構如圖1所示，包含一相位偵測器(Phase detector)11、一電荷泵浦(charge pump)12、一迴路濾波器(loop filter)13、一壓控振盪器(voltage control oscillator)14、以及一除頻器(frequency divider)15。相位偵測器11用來偵測輸入信號IN與相鎖時脈PLCK2之相位差異值，並根據相位差異值輸出控制脈衝UP、DN來控制電荷泵浦12。例如，當相鎖時脈PLCK2的相位超前(leading)輸入信號IN的相位時，相位偵測器11輸出之控制脈衝UP會小於控制脈衝DN，藉以使電荷泵浦12產生正值(positive)的控制電流 I_{cp} 。迴路濾波器13則根據該正值控制電流 I_{cp} 將控制電壓 V_{ctl} 減小，讓壓控振盪器14所輸出的相鎖時脈PLCK1之頻率降低。反之，當相鎖時脈PLCK2的相位落後(lagging)輸入信號IN的相位時，相位偵測器11輸出之控制脈衝UP會大於控制脈衝DN，藉以使電荷泵浦12來產生負值(negative)的控制電流 I_{cp} 。迴路濾波器13則根據該負值控制電流 I_{cp} 將控制電壓 V_{ctl} 增加，

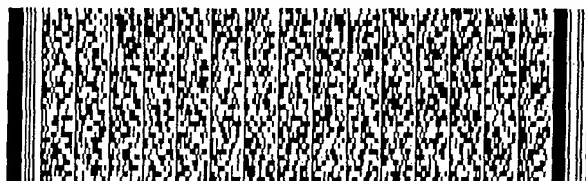


五、發明說明 (2)

讓壓控振盪器14所輸出的相鎖時脈PLCK1之頻率提昇。

圖2所示為一般之迴路濾波器的架構。如該圖所示，該迴路濾波器20包含由一電阻R1與一電容C1所構成的充放電路徑。控制電流 I_{cp} 會經由電阻R1對電容C1充放電，使該迴路濾波器20產生控制電壓 V_{ctl} ，如圖所示，控制電壓 V_{ctl} 為電阻R1的電壓與電容C1的電壓相加。此種迴路濾波器20的缺點是控制電流 I_{cp} 均流入電容C1，使得電容的容量必須夠大才能產生適當之控制電壓 V_{ctl} 。較大的電容會佔用較大的面積，使晶片無法小型化。

圖3顯示另一種習知迴路濾波器之架構圖。如該圖所示，該迴路濾波器30除了包含由電阻R2與電容C2組成的充放電路徑外，還包含一第二電阻R3與一OP放大器34。若忽略該OP放大器34的 $+/-$ 輸入端電壓差，則該OP放大器34的輸入端電壓等於輸出端電壓，因此， $R2 \cdot I_2$ 應等於 $R3 \cdot I_3$ 。所以，只要適當調整電阻R2與R3的比例，即可減少流入電容C2的電流量，進而減少電容C2的電容值。例如，若 $R2:R3$ 為9:1，則 I_2 為 I_{cp} 的1/10，所以電容C2亦可降低為電容C1的1/10。但是，實際上此架構之迴路濾波器30的OP放大器之兩輸入端的電壓並非完全相等，造成第一輸入端（例如+輸入端）與輸出端產生一電壓差，進而產生迴路電流 I_{sw} 。該迴路電流 I_{sw} 會使得電容C2的電壓產生變化，造成控制電壓 V_{ctl} 不穩定。另外，為了讓圖3之迴路濾波器30等效於圖2之迴路濾波器20，電阻R2與R3之並聯電阻值需等於電阻R1。因此，若 $R2:R3$ 為9:1，則電阻R2的值約為



五、發明說明 (3)

電阻 R_1 的10倍。過大的電阻將會造成設計的困難度。

[發明概要]

有鑑於上述問題，本發明之目的是提供可降低OP放大器之迴路電流以提高輸出電壓穩定性之迴路濾波器。

本發明之另一目的是提供一種可調整迴路濾波器之補償電流以提高迴路濾波器之輸出電壓穩定性的補償電流調整方法。

為達成上述目的，本發明該迴路濾波器包含：一第一電阻，其第一端接收一控制電流；一電容，係連接於第一電阻之第二端；一第二電阻，其第一端連接第一電阻之第一端；一電壓補償單元，其第一端連接第二電阻之第二端，並產生一補償電壓；一OP運算放大器，其輸出端連接於第二電阻之第二端，第一輸入端連接於第一電阻之第二端，以及第二輸入端連接於電壓補償單元之第二端；一電流源，係連接於電壓補償單元之第二端，並提供一補償電流。

該迴路濾波器利用電壓補償單元所提供之補償電壓使OP運算放大器之輸出端電壓實質上等於第一輸入端電壓，使該迴路濾波器之輸出控制電壓較穩定。

[實施例]

以下參考圖式詳細說明本發明迴路濾波器及其補償電流調整方法。本發明迴路濾波器是利用一電壓補償單元提



五、發明說明 (4)

供一反向補償電壓來抵銷OP放大器之兩輸入端的偏壓 V_{os} 。因此，OP放大器之輸出端電壓可實質上等於第一輸入端電壓(電容之電壓)，以降低或消除OP放大器之迴路電流，藉以提高輸出電壓穩定性。

圖4顯示本發明迴路濾波器第一實施例的架構圖。如該圖所示，本發明迴路濾波器40包含由第一電阻 R_2 與電容 C_2 組成的充放電路徑、一第二電阻 R_3 、一電壓補償單元45、一OP放大器44、一電流源43、一電流決定單元41、以及一電壓變化率偵測器42。第一電阻 R_2 、電容 C_2 、第二電阻 R_3 、以及OP放大器44的作用與圖3之相對元件的作用相同，不再重複說明。在此實施例中，OP放大器44的第一輸入端(正輸入端)連接至電容 C_2 ，而第二輸入端(負輸入端)連接至電壓補償單元45。

由於，OP放大器44的兩輸入端仍然會存在一偏壓 V_{os} ，而產生迴路電流 I_{sw} ，因此，本發明為了降低迴路電流 I_{sw} ，利用電壓補償單元45產生一反向補償偏壓 V_{off} ，使得OP放大器44之輸出端電壓 V_{op} 與電容 C_2 的電壓 V_{ip} 之間的電壓差降低。該電壓補償單元45可以是一電阻，並利用電流源43提供一補償電流 I_{off} ，以產生反向補償偏壓 V_{off} 。該實施例中，補償電流 I_{off} 是從電壓補償單元45流入電流源43。所以，只要提供適當之補償電流 I_{off} ，即可使反向補償偏壓 V_{off} 等於OP放大器44之偏壓 V_{os} ，而將迴路電流 I_{sw} 降低或消除。

以下說明補償電流 I_{off} 之取得方式。OP放大器44之輸



五、發明說明 (5)

出端電壓 V_{op} 可由式(1)表示，其中 R_{off} 為電壓補償單元45之電阻值：

$$V_{op} = V_{ip} - V_{os} + I_{off} * R_{off} \dots (1)$$

因此，為了使電壓 V_{op} 等於電壓 V_{ip} ，補償電流 I_{off} 應為式(2)：

$$I_{off} = V_{os} / R_{off} \dots (2)$$

但是，由於在不同的製程或操作電壓時，OP放大器之偏壓 V_{os} 會有不同的大小，因此可利用電流決定單元41與電壓變化率偵測器42來產生適當之補償電流 I_{off} 。亦即，在相鎖狀態後，首先利用電壓變化率偵測器42來偵測OP放大器44之輸出端電壓 V_{op} 的電壓變化率(slew rate)。之後，電流決定單元41根據電壓變化率的大小產生控制信號來調整電流源43之補償電流 I_{off} 大小。

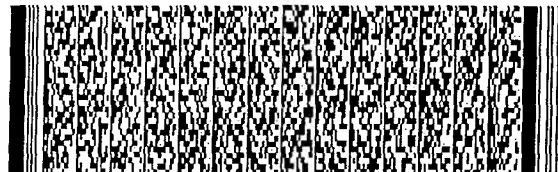
圖5顯示調整補償電流之方法的流程圖。該流程圖是用來產生圖4迴路濾波器的補償電流 I_{off} 。其方法如下：

步驟S500：初始化。

步驟S502：達到鎖定狀態。將PLL迴路閉合(close loop)並啟動PLL動作，並持續到鎖定狀態，以產生所需之控制電壓 V_{ctl} 。

步驟S504：取得電壓變化率。將PLL迴路打開(open loop)，亦即不提供控制電流至迴路濾波器，利用電壓變化率偵測器來偵測控制電壓 V_{ctl} 的變化率 S 。

步驟S506：比較電壓變化率 S 之絕對值是否小於電壓臨界值，若小於電壓臨界值則表示已產生最佳補償電流



五、發明說明 (6)

Ioff，跳至步驟S520，否則跳致步驟S508。

步驟S508：判斷電壓變化率S之極性是否相反，若相反則跳至步驟S516，否則跳至步驟S510。

步驟S510：判斷電壓變化率S是否大於0，若電壓變化率S大於0，則表示補償電流過大，需跳至步驟S512，否則跳至步驟S514。

步驟S512：降低補償電流，並跳回步驟S504。

步驟S514：增加補償電流，並跳回步驟S504。

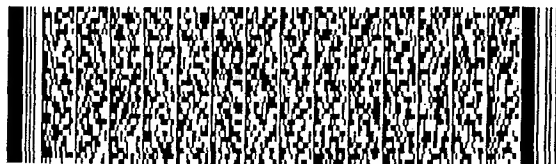
步驟S516：累加極性變換次數N。

步驟S518：比較極性變換次數N是否大於或等於2，若極性變換次數N大於或等於2，則跳至步驟S520，否則跳回步驟S504。

步驟S520：結束。

當然，在上述步驟中由於補償電流降低或增加之解析度有限，可能無法將電壓變化率S剛好調整為0。因此，在步驟S518中若極性變換次數N大於或等於2，即表示找到最佳之補償電流。當然，在上述步驟S520的步驟中，亦可進一步選擇兩次極性變換時之電壓變化率S較小之補償電流作為最後決定之補償電流。

圖6顯示本發明迴路濾波器的第二實施例的架構圖。如該圖所示，該實施例迴路濾波器40'包含由第一電阻R2與電容C2組成的充放電路徑、一第二電阻R3、一電壓補償單元45、一OP放大器44、一電流源46、一電流決定單元41、以及一電壓變化率偵測器42。第一電阻R2、電容C2、



五、發明說明 (7)

第二電阻R3、以及OP放大器44的作用與圖3之相對元件的作用相同，不再重複說明。在此實施例中，OP放大器44的第一輸入端(負輸入端)連接至電容C2，而第二輸入端(正輸入端)連接至電壓補償單元45。

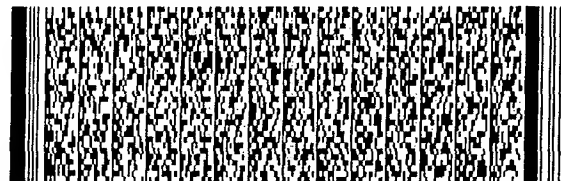
由於，OP放大器44的兩輸入端仍然會存在一偏壓 V_{os} ，而產生迴路電流 I_{sw} ，因此，本發明為了降低迴路電流 I_{sw} ，利用電壓補償單元45產生一反向補償偏壓 V_{off} ，使得OP放大器44之輸出端電壓 V_o 與電容C2的電壓 V_{ip} 之間的電壓差降低。該電壓補償單元45可以是一電阻，並利用電流源46提供一補償電流 I_{off} ，以產生反向補償偏壓 V_{off} 。該實施例中，補償電流 I_{off} 是從電流源46流入電壓補償單元45。所以，只要提供適當之補償電流 I_{off} ，即可使反向補償偏壓 V_{off} 等於OP放大器44之偏壓 V_{os} ，而將迴路電流 I_{sw} 降低或消除。電流源43之補償電流 I_{off} 大小由電流決定單元41與電壓變化率偵測器42來產生。

圖7顯示產生補償電流之方法的流程圖。該流程圖是用來產生圖6迴路濾波器的補償電流 I_{off} 。其方法如下：

步驟S700：初始化。

步驟S702：達到鎖定狀態。將PLL迴路閉合(close loop)並啟動PLL動作，並持續到鎖定狀態，以產生所需之控制電壓 V_{ctl} 。

步驟S704：取得電壓變化率。將PLL迴路打開(open loop)，亦即不提供控制電流至迴路濾波器，利用電壓變化率偵測器來偵測控制電壓 V_{ctl} 的變化率 S 。



五、發明說明 (8)

步驟S706：比較電壓變化率 S 之絕對值是否小於電壓臨界值，若小於電壓臨界值則表示已產生最佳補償電流 I_{off} ，跳至步驟S720，否則跳致步驟S708。

步驟S708：判斷電壓變化率 S 之極性是否相反，若相反則跳至步驟S716，否則跳至步驟S710。

步驟S710：判斷電壓變化率 S 是否小於0，若電壓變化率 S 小於0，則表示補償電流過大，需跳至步驟S712，否則跳至步驟S714。

步驟S712：降低補償電流，並跳回步驟S704。

步驟S714：增加補償電流，並跳回步驟S704。

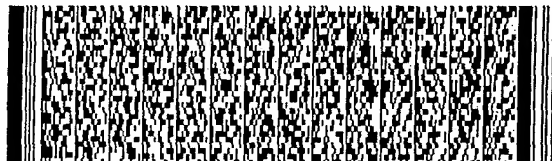
步驟S716：累加極性變換次數 N 。

步驟S718：比較極性變換次數 N 是否大於或等於2，若極性變換次數 N 大於或等於2，則跳至步驟S720，否則跳回步驟S704。

步驟S720：結束。

當然，在上述步驟中由於補償電流降低或增加之解析度有限，可能無法將電壓變化率 S 剛好調整為0。因此，在步驟S518中若極性變換次數 N 大於或等於2，即表示找到最佳之補償電流。當然，在上述步驟S520的步驟中，亦可進一步選擇兩次極性變換時之電壓變化率 S 較小之補償電流作為最後決定之補償電流。

圖8顯示本發明迴路濾波器的第三實施例的架構圖。如該圖所示，該實施例迴路濾波器40"包含由第一電阻 $R2$ 與電容 $C2$ 組成的充放電路徑、一第二電阻 $R3$ 、一電壓補償

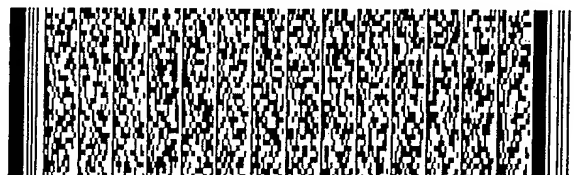


五、發明說明 (9)

單元45、一OP放大器44、一第一電流源43、一第二電流源46、一電流決定單元41、以及一電壓變化率偵測器42。第一電阻R2、電容C2、第二電阻R3、以及OP放大器44的作用與圖3之相對元件的作用相同，不再重複說明。在此實施例中，OP放大器44的第一輸入端連接至電容C2，而第二輸入端連接至電壓補償單元45。該實施例與第一實施例、第二實施例不同處是OP放大器44的第一輸入端與第二輸入端並未限定極性，亦即第一輸入端可為正輸入端或負輸入端。

由於，OP放大器44的兩輸入端仍然會存在一偏壓 V_{os} ，而產生迴路電流 I_{sw} ，因此，本發明為了降低迴路電流 I_{sw} ，利用電壓補償單元45產生一反向補償偏壓 V_{off} ，使得OP放大器44之輸出端電壓 V_o 與電容C2的電壓 V_{ip} 之間的電壓差降低。該電壓補償單元45可以是一電阻，並利用電流源43、46提供一補償電流 I_{off} ，以產生反向補償偏壓 V_{off} 。該實施例中，補償電流 I_{off} 可從電壓補償單元45流出或流入電壓補償單元45，端看第一輸入端之極性。所以，只要提供適當之補償電流 I_{off} ，即可使反向補償偏壓 V_{off} 等於OP放大器44之偏壓 V_{os} ，而將迴路電流 I_{sw} 降低或消除。電流源43、46之補償電流 I_{off} 大小由電流決定單元41與電壓變化率偵測器42來產生。

圖9顯示本發明迴路濾波器第四實施例的架構圖。如該圖所示，該實施例之迴路濾波器90與圖8之第三實施例之迴路濾波器45"大致相同，唯一不同點是控制電流 I_{cp} 先



五、發明說明 (10)

流經一第四電阻 R_s 後，才流入第一電阻 R_2' 與第二電阻 R_3' 。該第四電阻 R_s 之功用是用來減少第一電阻 R_2' 與第二電阻 R_3' 的電阻大小。亦即，

$$R_s + R_2' || R_3' = R_2 || R_3 \dots (3)$$

當然，該第四電阻 R_s 亦可應用於第一實施例與第二實施例之迴路濾波器40、40'。

以上雖以實施例說明本發明，但並不因此限定本發明之範圍，只要不脫離本發明之要旨，該行業者可進行各種變形或變更。



圖式簡單說明

圖1所示為數位相鎖迴路之架構圖。

圖2所示為一般之迴路濾波器的架構圖。

圖3顯示另一種習知迴路濾波器之架構圖。

圖4顯示本發明迴路濾波器第一實施例的架構圖。

圖5顯示本發明用於迴路濾波器之產生補償電流方法之第一實施例的流程圖。

圖6顯示本發明迴路濾波器第二實施例的架構圖。

圖7顯示本發明用於迴路濾波器之產生補償電流方法之第二實施例的流程圖。

圖8顯示本發明迴路濾波器第三實施例的架構圖。

圖9顯示本發明迴路濾波器第四實施例的架構圖。

【圖式編號】

40、40'、40"、90 迴路濾波器

41 電流決定單元

42 電壓變化率偵測器

43、46 電流源

44 OP放大器

45 電壓補償單元



六、申請專利範圍

1. 一種迴路濾波器，係接收一控制電流後產生一控制電壓，該迴路濾波器包含：

一第一電阻，包含第一端與第二端，其第一端接收前述控制電流；

一電容，係連接於前述第一電阻之第二端；

一第二電阻，包含第一端與第二端，其第一端連接前述第一電阻之第一端；

一電壓補償單元，包含第一端與第二端，其第一端連接前述第二電阻之第二端，並產生一補償電壓；

一OP運算放大器，其輸出端連接於前述第二電阻之第二端，第一輸入端連接於前述第一電阻之第二端，以及第二輸入端連接於前述電壓補償單元之第二端；以及

一電流源，係連接於前述電壓補償單元之第二端，並提供前述電壓補償單元一補償電流；

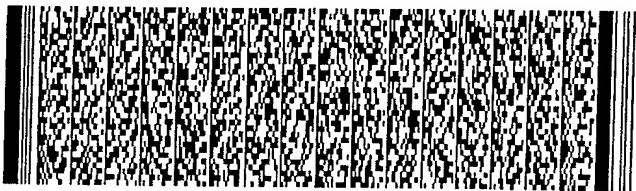
藉以使前述OP運算放大器之輸出端電壓實質上等於OP運算放大器之第一輸入端。

2. 如申請專利範圍第1項所記載之迴路濾波器，還包含：

一電壓變化率偵測器，係偵測前述OP運算放大器之輸出端的電壓變化率；以及

一決定單元，係根據前述電壓變化率控制前述電流源之補償電流大小。

3. 如申請專利範圍第1項所記載之迴路濾波器，其中前述電壓補償單元為一第三電阻。



六、申請專利範圍

4. 如申請專利範圍第1項所記載之迴路濾波器，該迴路濾波器還包含一第四電阻，讓前述控制電流先流經該第四電阻，藉以降低前述第一電阻與第二電阻的電阻值。

5. 如申請專利範圍第1項所記載之迴路濾波器，其中前述OP運算放大器的第一輸入端為正端，第二輸入端為負端。

6. 如申請專利範圍第5項所記載之迴路濾波器，其中前述電流源之電流方向是從前述電壓補償單元之第二端流出。

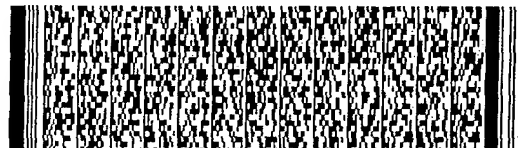
7. 如申請專利範圍第1項所記載之迴路濾波器，其中前述OP運算放大器的第一輸入端為負端，第二輸入端為正端。

8. 如申請專利範圍第7項所記載之迴路濾波器，其中前述電流源之電流方向是流入前述電壓補償單元之第二端。

9. 一種迴路濾波器之補償電流調整方法，該迴路濾波器係使用於相鎖迴路，利用一電壓補償單元連接於一OP放大器的輸出端與一第二輸入端，並利用一電流源提供一補償電流至該電壓補償單元，藉以利用橫跨於該電壓補償單元之補償電壓使該迴路濾波器之OP放大器的輸出端電壓實質上等於第一輸入端電壓，以降低該迴路濾波器之輸出控制電壓的穩態誤差，該補償電流調整方法包含下列步驟：

取得相鎖迴路之閉迴路的控制電壓；

開啟迴路；



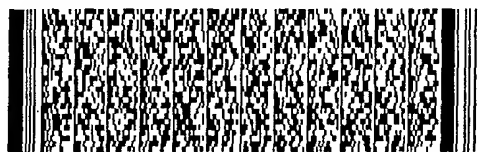
六、申請專利範圍

測量前述控制電壓的變化率；

若前述變化率之絕對值低於一電壓臨界值，則完成調整；

若前述變化率大於0且前述OP放大器的第二輸入端為負端時，或前述變化率小於0且前述OP放大器的第二輸入端為正端時，則減少前述補償電流，並重複前述步驟；以及

若前述變化率小於0且前述OP放大器的第二輸入端為負端時，前述變化率大於0且前述OP放大器的第二輸入端為正端時，則增加前述補償電流，並重複前述步驟。



圖式

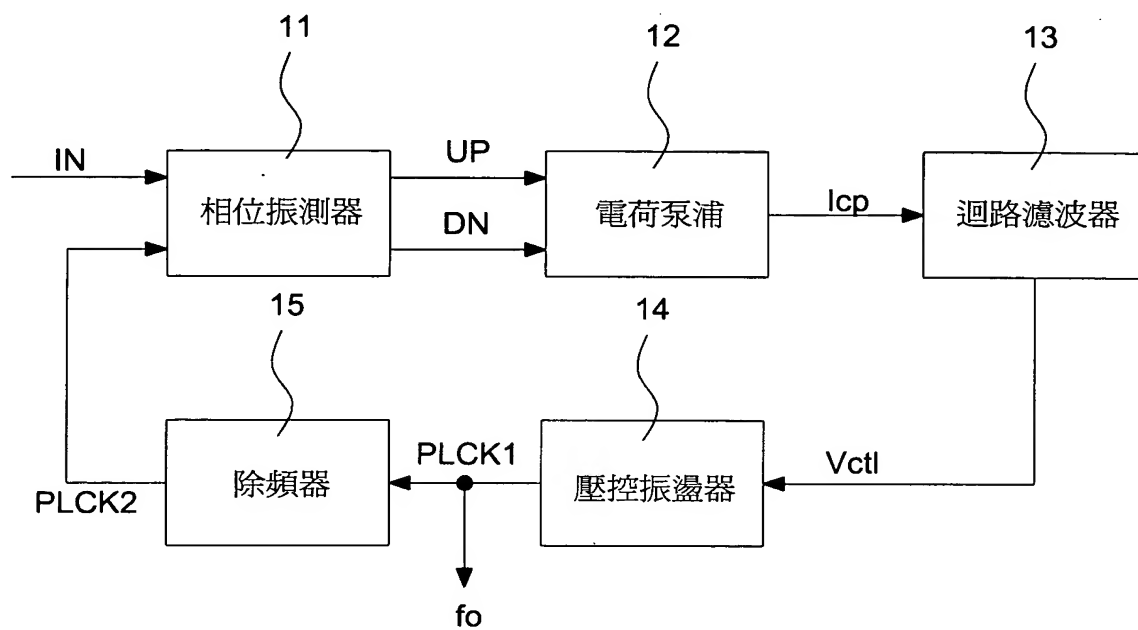


圖 1

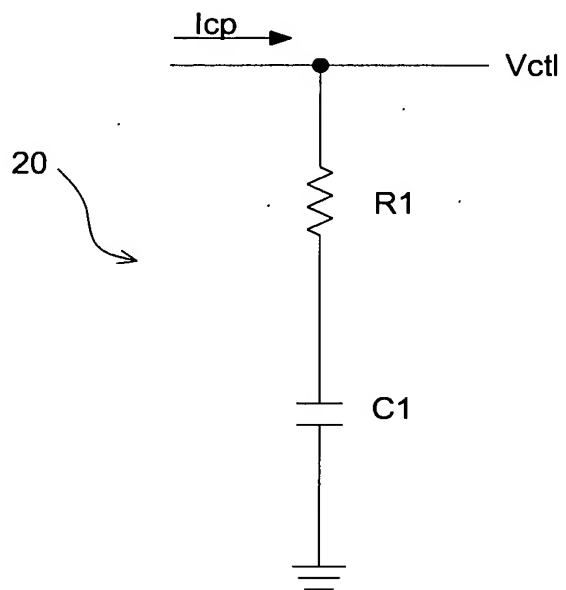


圖 2

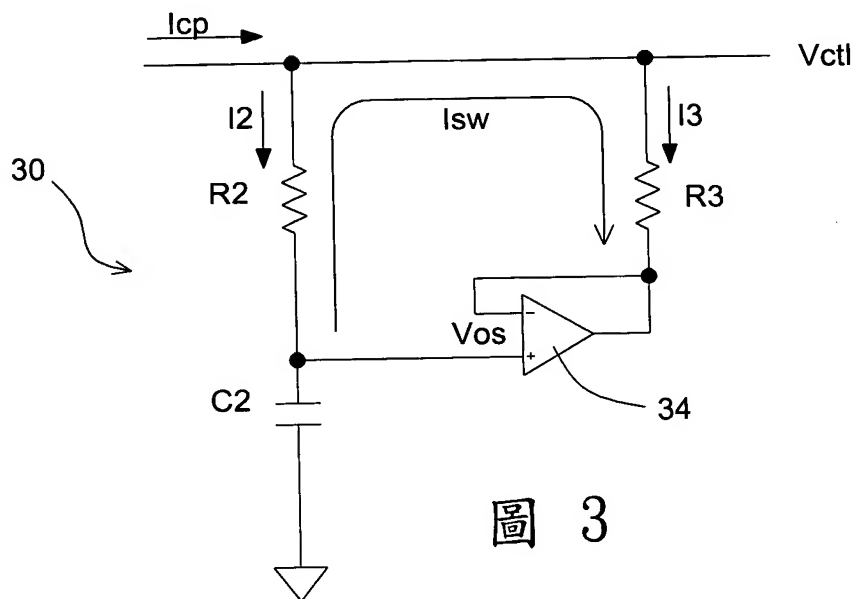


圖 3

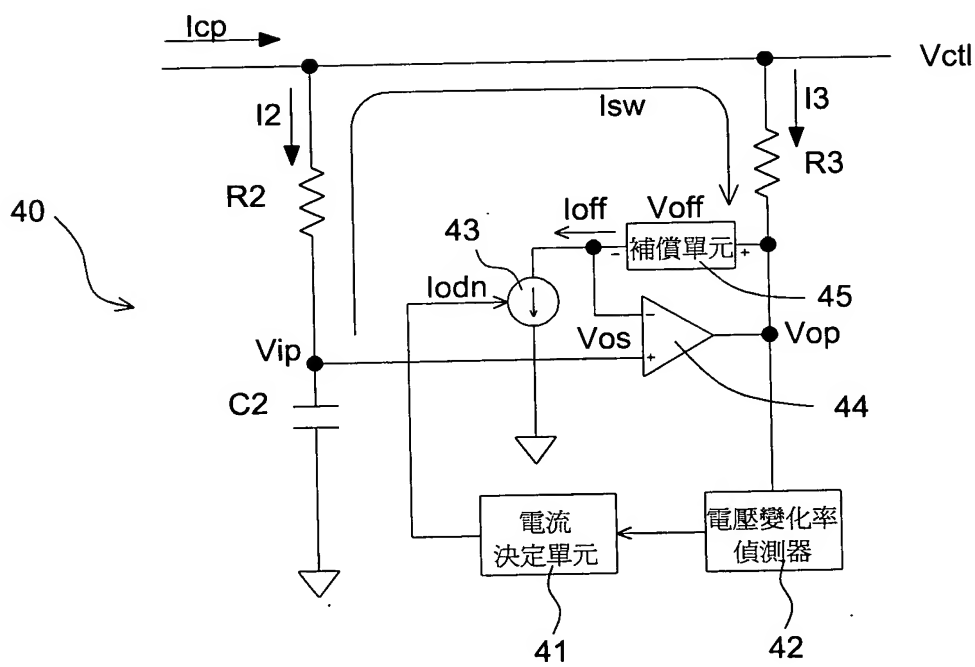


圖 4

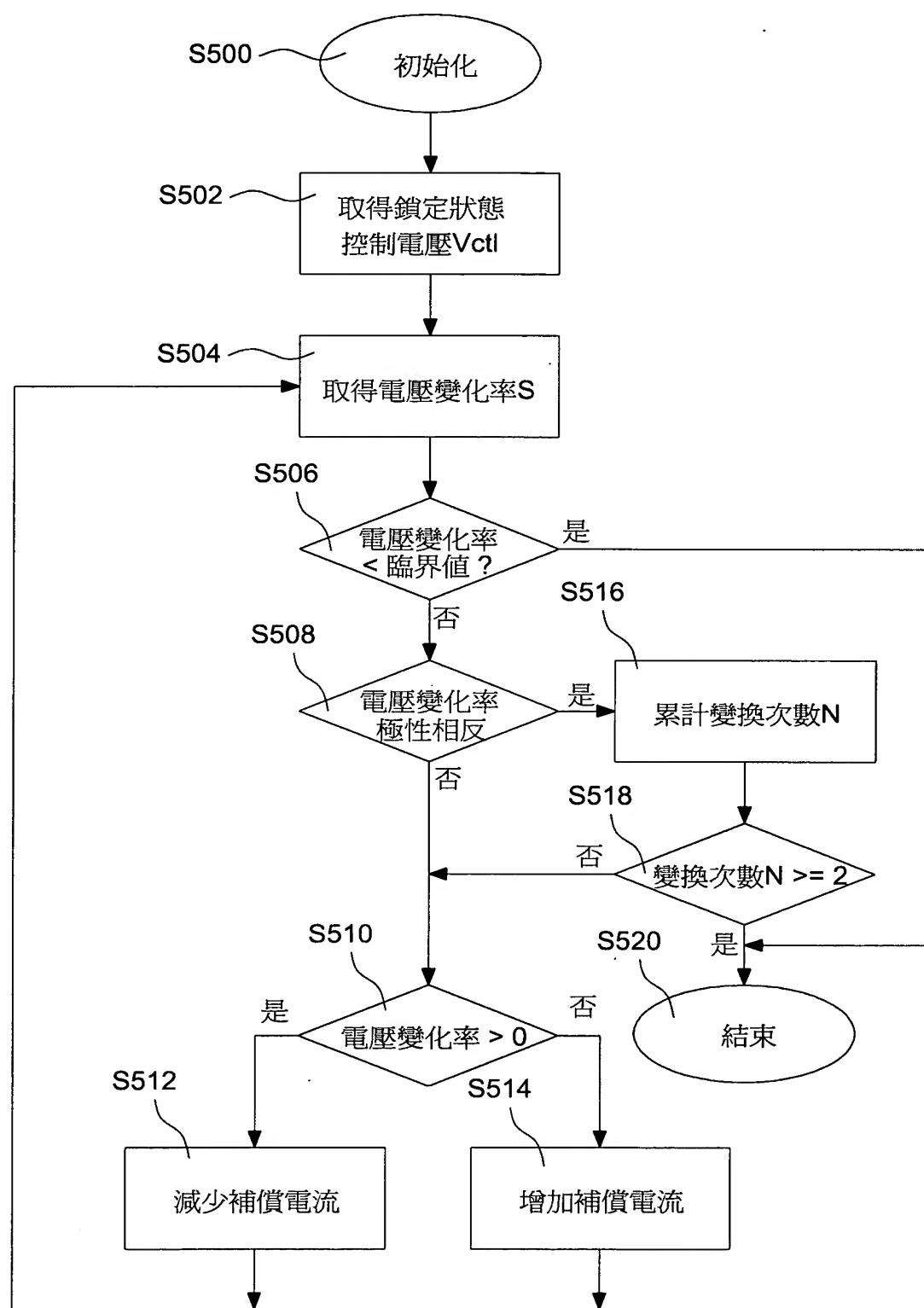


圖 5

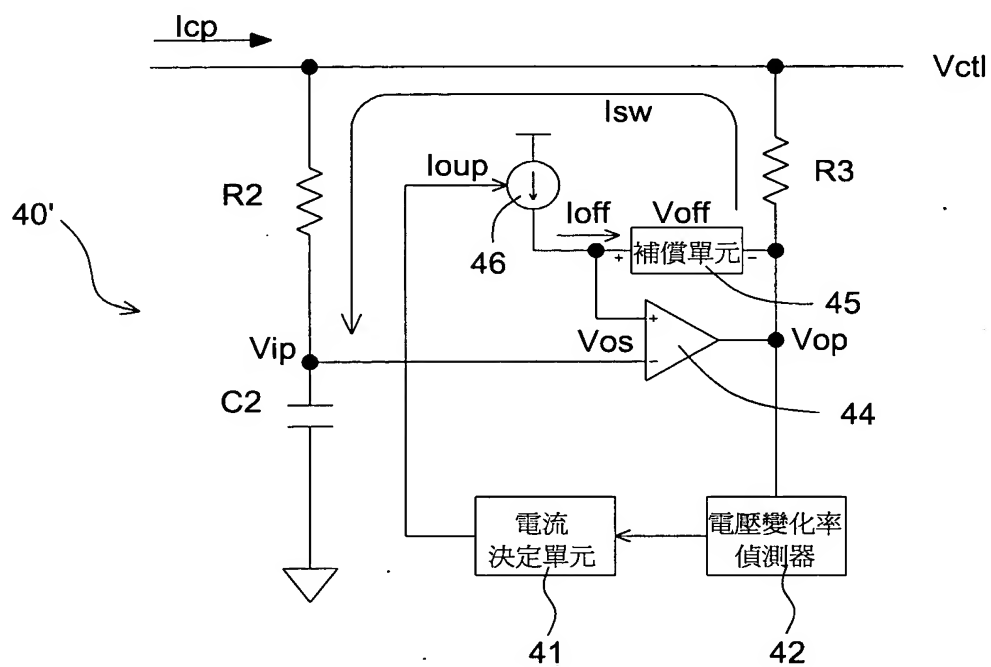


圖 6

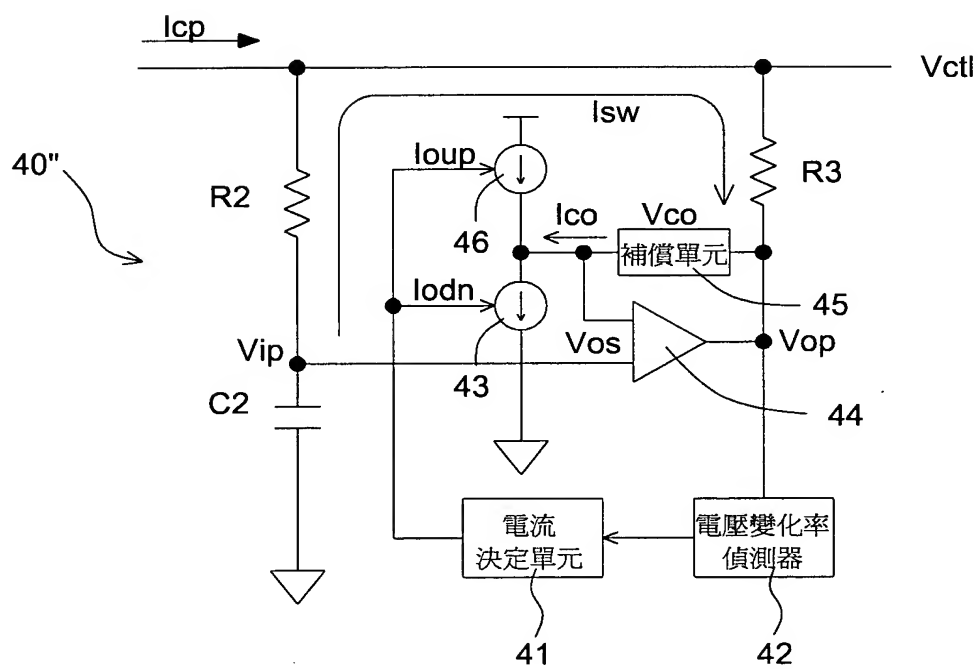


圖 8

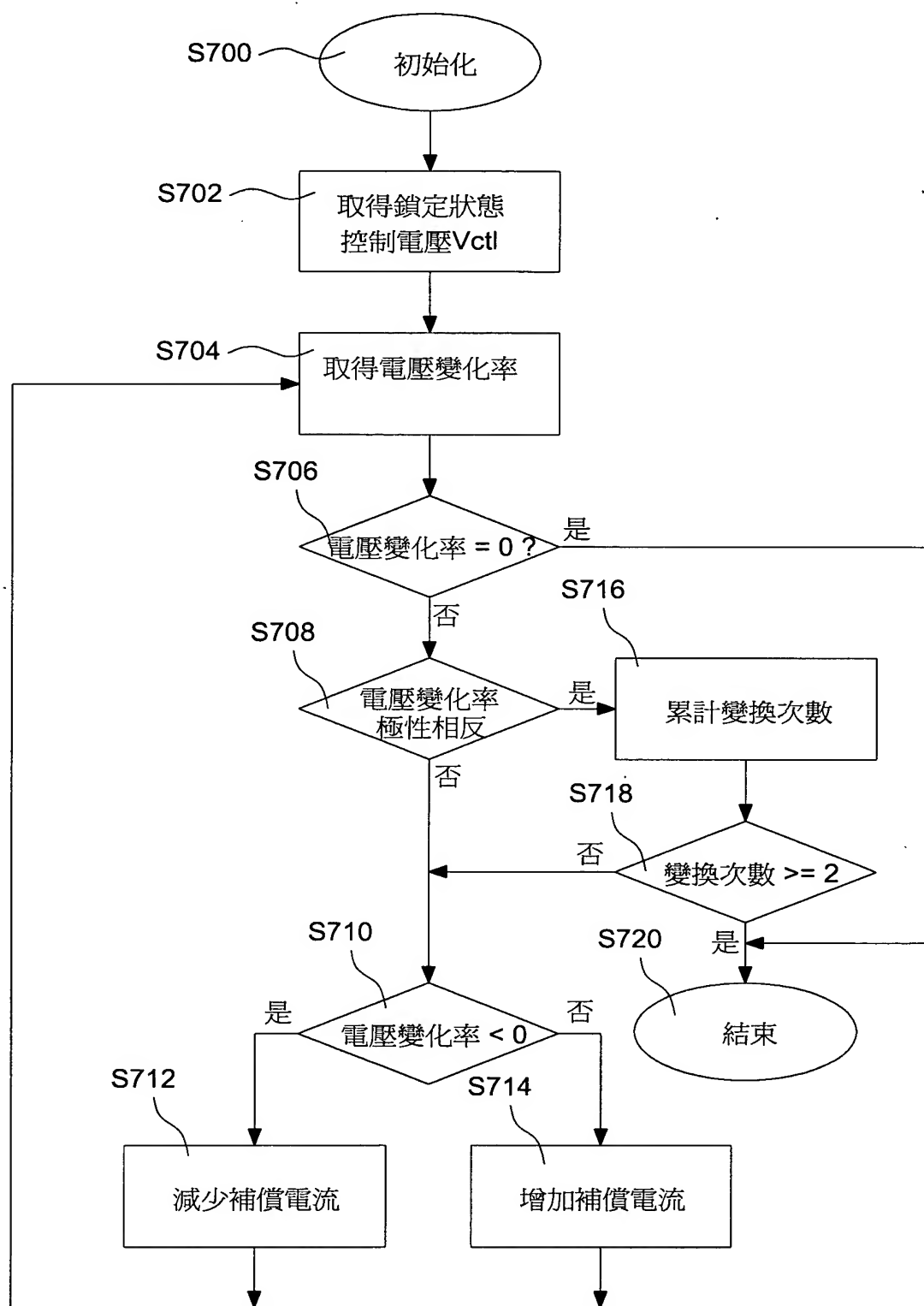


圖 7

圖式

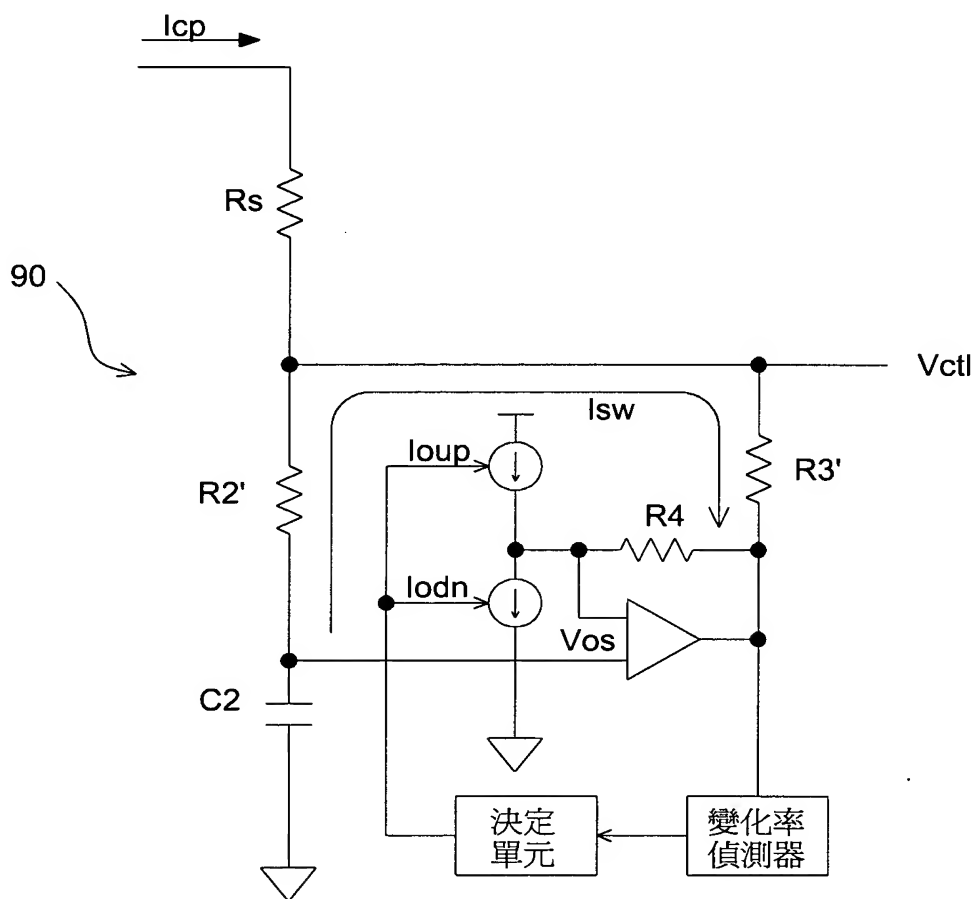


圖 9